

Der pH-Wert der Tränenflüssigkeit des Hundes

Gerhard Dörr

1973

Aus der chirurgischen Klinik
der Tierärztlichen Fakultät der Universität München
Vorstand: Prof. Dr. H. Schebitz

DER pH-WERT DER TRÄNENFLÜSSIGKEIT DES HUNDES

In a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München



von
Gerhard Dörr
aus
Bensheim a. d. B.

München 1972

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen
Fakultät der Universität München

Dekan: Prof.Dr. E. Dahme

Referent: Prof.Dr. H. Schebitz

Korreferent: Dr. D. Giesecke

Tag der Promotion: 23.2.1973



Druck: Dissertationsdruck Novotny jr., 8135 Söcking/Starnberg

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
A. Einleitung	1
B. Literaturübersicht	2
C. pH-Messung	11
D. Material und Methode	14
E. Ergebnisse	18
F. Diskussion	25
G. Zusammenfassung	29
H. Literaturverzeichnis	31



Digitized by the Internet Archive
in 2026

A. EINLEITUNG

Die meisten Lebensvorgänge sind an eine bestimmte Wasserstoffionenkonzentration gebunden. Verschiebungen derselben führen zu Störungen und innerhalb enger Grenzen zum Stillstand der biologischen Funktionen.

Viele Krankheiten gehen mit charakteristischen pH-Veränderungen einher, so daß die Wasserstoffionenkonzentration vielfach ein Indikator pathologischen Geschehens ist. Wie der übrige Organismus hat auch das Auge in seinen verschiedenen Abschnitten wohldefinierte Werte der Wasserstoffionenkonzentration.

Das Lysozym (FLEMMING 1922), ein Enzym der Tränenflüssigkeit, welches bestimmte Bakterien vernichtet, muß für seine Wirksamkeit ein pH-Optimum haben. Augentropfen und -salben mit einem pH, der sehr von dem der Tränenflüssigkeit abweicht, verursachen Reizungen der Augen.

Da klinisch verwertbare Angaben über pH-Messungen am Auge des Hundes bisher nicht vorliegen, wurde mir die Aufgabe gestellt, zu untersuchen, wie hoch der pH-Wert der Tränenflüssigkeit des Hundes ist, ob Geschlecht, Alter und Rasse einen Einfluß auf den pH-Wert haben und ob entzündliche Veränderungen der vorderen Augenabschnitte zu pH-Veränderungen der Tränenflüssigkeit führen.

B. LITERATURÜBERSICHT

Dr. C. F. CHARLTON aus Pasadena bestimmte als erster die Wasserstoffionenkonzentration der Tränen beim Menschen.

1921 veröffentlichte er die Ergebnisse, die er nach der kolorimetrischen Methode gefunden hatte. Den pH-Wert der Tränenflüssigkeit im Konjunktivalsack gibt er mit 7,2 an.

Ein Jahr später untersuchte KUSONOKI bei 80 Japanern die Tränenflüssigkeit mit Hilfe der Gaskettenmethode. Er fand im Durchschnitt einen pH-Wert von 7,4 bis 8,4.

OGUCHI und NAKASHIMA (1928) bestimmten den pH-Wert des Konjunktivalsekrets getrennt von dem der Tränenflüssigkeit und ermittelten den pH-Wert verschiedener Augentropfen. Sie wählten die kolorimetrische Methode als die praktikabelste und verwendeten die Standardpufferlösung von SÖRENSEN und CLARK und die Indikatoren Thymol-Blau, Phenol-Rot und Methyl-Rot. Den pH-Wert erhielten sie, indem sie Indikator und Augensekret auf einer weissen Glasplatte vermischten und den entstandenen Farbton mit der Standardfarbe verglichen. Für die Wasserstoffzahl des Konjunktivalsekrets geben sie pH 7,0 bis 7,2 an, die danach geringer ist als die des Blutes. Nach der gleichen Methode liegt der pH-Wert der Tränen zwischen 8,4 und 8,6.

Die obere Grenze der Alkalität des Augensekrets, in dem sie noch Bakterien gefunden hatten, geben sie mit pH 7,6 an.

Die von den Autoren untersuchten Augentropfen reagierten fast alle sauer. Da säuerliche Kollyrien das Auge reizen und die Reizwirkung mit der Azidität zunimmt, schlagen sie die Verwendung von solchen Augentropfen vor, die einen pH von 7,8 haben, der dem des

Kammerwassers entspricht.

LIPSCHÜTZ (1929) gibt den pH normaler Tränen mit ca. 8 an. Er berichtet, daß der pH-Wert des Konjunktivalsekrets bei ursächlich verschiedenen Konjunktivitiden einen ungefähren Wert von 7,5 hat.

Er träufelte auf die Bindehaut des umgestülpten Oberlids einen Tropfen verdünnter Neutralrot-Lösung und schloß aus der Verfärbung auf die Reaktion. Als Vergleich diente der Farbgrad von Phosphatpuffern verschiedener Reaktionen, denen eine entsprechende Menge Neutralrot zugesetzt war. Da die Wasserstoffionenkonzentration für die Schmerzempfindung bei der Entzündung mitverantwortlich gemacht wird, prüfte er die Empfindlichkeit der Bindehaut gegen Pufferlösungen verschiedener pH-Werte. Dazu benutzte er die Phosphatpufferlösungen nach SÖRENSEN.

Tabelle von LIPSCHÜTZ

ccm KHPO_4		ccm Na_2HPO_4	pH	Empfindung bei 25° warmer Lösung
0	+	10	9	
0,4	+	9,6	8	
1,3	+	8,7	7,6	völlig reizlos
2,35	+	7,65	7,35	
4,0	+	6,0	7,0	
6,4	+	3,6	6,6	geringes Trockenheitsgefühl
7,8	+	2,2	6,3	
8,8	+	1,2	6,0	starkes Trockenheitsgefühl
10,0	+	0	4,5	Brennen
0,01 _n	+	CH_3COOH	3,4	starkes Brennen

1930 veröffentlichten VON PELLATHY und SCHNEIDER eine andere Methode zur pH-Bestimmung von Tränen. Sie legten schmale Filterpapierstreifen, die mit Indikatoren präpariert waren, direkt in die Tränenflüssigkeit zwischen die tarsale und bulbäre Konjunktiva. Gleichpräparierte Indikatorpapiere tauchten sie in eine Pufferlösung mit bekanntem pH-Wert. Die Wasserstoffionenkonzentration wurde durch Vergleich der Farbveränderungen beider Serien bestimmt. Sie untersuchten 80 Patienten. Der pH-Wert der Tränen lag bei gesunden Augen zwischen 7,6 und 8,0, während er bei Entzündungen der Konjunktiva und der Cornea immer vermindert war.

HOSFORD und HICKS (1935) verdünnten die Tränenflüssigkeit 1 : 15 mit neutralem destilliertem Wasser. Nach ihren Angaben sind die Tränen so gut gepuffert, daß bei diesem Verdünnungsgrad keine Veränderung des pH-Wertes erfolgte. Für die Messung entnahmen sie die Tränenflüssigkeit dem Bindehautsack.

Den kolorimetrisch bestimmten pH-Wert der Tränen gesunder Augen geben sie mit 7,35 an. Dieser Wert entspricht dem Blut-pH.

Bei Verletzungen der Hornhaut stellten sie eine Alkalisierung der Tränen fest, mit pH-Werten von 8 - 8,4. Ebenso riefen Cornea ulcera im akuten und schmerzhaften Stadium eine Verschiebung zur alkalischen Seite hervor, die jedoch schwächer war als bei Verletzungen. Andererseits trat bei chronischen Geschwüren keine besondere Alkalisierung der Tränen auf.

FELDMANN (1937) berichtet über die pH-Bestimmungen mit dem Potentiometer. Er untersuchte die Tränen von 50 Augen, die nur Refraktionsanomalien hatten. Mit einem "cullen tube" saugte er die Tränenflüssigkeit auf. Er fand pH-Werte von 5,2 bis 8,35;

die meisten lagen zwischen 7 und 7,4.

Bei extra-okularen Erkrankungen, wie akuter und chronischer Katarrh, Fremdkörpertrachom und Gonorrhoe, wurden im wesentlichen dieselben Werte ermittelt. Bei der Mehrzahl der Fälle lag der pH-Wert um 7. Er fand, daß die Veränderung der Wasserstoffionenkonzentration nicht von der Art der Erkrankungen abhängig war.

SWAN, TRUSSEL und ALLEN (1939) verwendeten für ihre Untersuchungen eine L-förmige Glaselektrode. Sie wurde in der unteren Fornix so plaziert, daß der Inhalt des Bindehautsackes sie völlig bedeckte. Bei ihren Messungen fanden sie zwei verschiedene Werte. Das Konjunktivalsekret des reizlosen Auges hatte einen pH-Wert von $7,23 \pm 0,013$, während bei starkem Tränenfluß der pH-Wert $7,44 \pm 0,021$ war.

HIND und GOYAN (1949) reizten die Bindehaut mit zwei bis drei Tropfen destillierten Wassers, um den Tränenfluß anzuregen. Dann sammelten sie die Proben entweder direkt in eine "coleman-micro-chamber-elektrode" oder in einen medizinischen Tropfer, um sie von dort auf eine Glaselektrode zu übertragen.

Ihre Werte beruhen auf Messungen von 77 normalen Augen, die einen pH zwischen 7,3 und 7,7 ergaben. Der Durchschnittswert war 7,47.

1951 veröffentlichte VIDAL seine Ergebnisse, die er mit Hilfe von Indikatorpapieren gewonnen hatte. Er fand für den pH-Wert der Tränenflüssigkeit einen Durchschnittswert von 7,3.

PEDERSEN-BJERGAARD und SCHMIDT (1952) sammelten die Tränen in Pyrextubes aus dem Bindehautsack.

Zur Anregung der Tränensekretion ließen sie einige Patienten an einer Flasche Formalin riechen. Die Proben wurden dann auf eine Kapillar-Glaselektrode übertragen. Bei 50 Untersuchungen lag der durchschnittliche pH-Wert bei 7,4.

HUDELO und MERGIER (1952/53) geben in der Veröffentlichung von 1952 an, daß der pH-Wert der Tränenflüssigkeit gesunder Augen zwischen 7,5 und 8,5 als normal anzusehen ist. Bei der Untersuchung von Augen gesunder Personen fanden sie Werte, die zwischen 7,1 und 8,6 lagen; als Gesamtdurchschnittswert hatten sie 7,76 errechnet. Den pH-Wert bestimmten sie elektrometrisch, indem sie eine Elektrode in den Bindehautsack plazierten. Bei der Prüfung, ob Augentropfen eine spezielle Wirkung auf die Tränenflüssigkeit haben, kamen sie zu zwei Ergebnissen:

1. Die Wirkungsdauer von Augentropfen ist sehr kurz. Sie beträgt nur etwa 10 Minuten.
2. Die Veränderung des pH-Wertes in dieser kurzen Zeit ist umgekehrt der Wasserstoffionenkonzentration der Augentropfen, das heißt, saure Augentropfen bewirken eine Alkalisierung, und alkalische eine Säuerung der Tränen.

1953 untersuchten die Autoren nach der gleichen Methode die Tränenflüssigkeit augenkranker Patienten. Sie geben in ihrer Veröffentlichung von 1953 unter anderem folgende Ergebnisse an:

1. akute Bindehautentzündungen mit starker Rötung der Konjunktiven : pH 7,4 - 8,4 mit einem Durchschnittswert von 7,76

(dieses Ergebnis unterscheidet sich kaum vom pH-Wert gesunder Augen)

2. akute allergische Bindehautentzündung

pH 7,1 - 7,8 mit einem Durchschnittswert von 7,5
(deutlich saurer als der Normalwert)

3. chronische Bindehautentzündung

pH 7,6 - 8,9 mit einem Durchschnittswert von 8,19
(deutlich alkalischer als der Normalwert)

4. Epiphora

pH 7,3 - 8,6 mit einem Durchschnittswert von 7,8

5. Kerato-Konjunktivitiden

pH 8,3 - 8,9 mit einem Durchschnittswert von 8,6

6. Iritis

pH 8,2 - 9 bei einem Durchschnittswert von 8,62

Nach HUDELO und MERGIER sind Hyperämie und Tränenfluß zwei antagonistisch auf die Wasserstoffionenkonzentration der Tränenflüssigkeit einwirkende Faktoren. Sie unterscheiden eine "konjunktivale Reaktion" mit Säuerung der Tränenflüssigkeit und eine "lakrimale Reaktion" mit Neigung zur Alkalisierung. Sie erklären das folgendermaßen:

die konjunktivale Reaktion mit starker Blutgefäßfüllung führt zu einer Säuerung, da ja der pH-Wert des Blutes mit 7,3 deutlich unter dem der Tränenflüssigkeit liegt.

Bei der lakrimalen Reaktion kommt es zur Alkalisierung. Die Tränen sind beim Austritt aus den Tränenkanälen deutlich alkalisch, da sie eine gewisse Menge CO_2 in Form von Bicarbonaten enthalten. Beim Kontakt mit der Luft wird etwas CO_2 abgegeben. Wenn nunmehr der Tränenfluß erhöht ist, dissoziiert im Verhältnis zur Tränenmenge weniger Bicarbonat und der pH-Wert der

Tränenflüssigkeit im Bindehautsack steigt relativ an.

Bei der akuten Bindehautentzündung steht die konjunktivale Reaktion im Vordergrund, wogegen bei der chronischen Bindehautentzündung, bei der die Konjunktiven weniger gut durchblutet sind, die lakrimale Reaktion überwiegt.

Sie schließen daraus: je niedriger der pH-Wert ist, desto akut entzündlicher ist die Erkrankung. Der pH-Wert steigt dagegen in dem Maße an, wie die Erkrankung einen chronischen Charakter annimmt.

REXED (1958) stellte den pH-Wert der Tränenflüssigkeit bei 100 Personen fest, die keine Anzeichen für eine Erkrankung der Bindehaut oder des Tränensystems hatten. Die Flüssigkeit wurde dicht bei den Ausführungsgängen der Tränendrüse gesammelt und direkt in eine Glaskapillare aufgezogen, welche dann als Mikro-Glas-Elektrode verwendet wurde. Auf diese Weise war die Tränenflüssigkeit am wenigsten der Luft ausgesetzt, und es bestand ein Minimum von CO_2 -Verlust.

Der gemessene pH-Wert schwankte zwischen 7,1 und 7,99 mit einem Mittelwert von $7,49 \pm 0,02$ bei einer Standardabweichung von 0,16.

MATTHÄUS (1962) untersuchte den pH-Wert an hundert gesunden menschlichen Augen, die er in zwei Gruppen unterteilte. Bei der ersten Versuchsgruppe wurde die Tränenflüssigkeit mit Glaskapillaren unmittelbar an den Ausführungsgängen der Tränendrüse gewonnen und jeweils sofort untersucht. Bei der zweiten Gruppe erfolgte die Entnahme aus dem Bindehautsack.

Zur pH-Messung verwendete er die elektrometrische Methode mit einer Mikro-Glaselektrode.

Bei den an den Ausführungsgängen der Tränendrüse gewonnenen Flüssigkeiten fanden sich Werte zwischen 7,20 und 7,80 mit einem Mittelwert von 7,48.

Die aus dem Bindehautsack entnommenen Flüssigkeiten hatten pH-Werte zwischen 7,50 und 8,20 mit einem Mittelwert von 7,85. Danach ist die Tränenflüssigkeit im Bindehautsack alkalischer als an den Ausführungsgängen der Tränendrüse. ($\sim$ 0,40 pH). Als Ursache hierfür nennt er die Vermischung der Tränen im Bindehautsack mit Muzin und anderen organischen Substanzen und auch die Dissoziation der in den Tränen vorhandenen Bicarbonate bei Kontakt mit der Luft.

Bei Konjunktivitis, Keratitis und Iritis war der pH-Wert der Tränen sowohl an den Ausführungsgängen der Drüse als auch im Konjunktivalsack erniedrigt.

Bei Keratitis zum Beispiel war der pH an der Tränendrüse um rund 0,5 niedriger als bei gesunden Vergleichsfällen. Das würde bedeuten, daß die Tränendrüse aufgrund der Entzündung ein Sekret abgibt, das deutlich saurer ist als beim gesunden Auge. Der Verfasser gewinnt den Eindruck, daß die pH-Erniedrigung um so ausgeprägter ist, je intensiver und akuter der entzündliche Prozess imponiert. Dies sieht er als Beispiel dafür, daß entzündliche Veränderungen eine Azidose nach sich ziehen bzw. daß es auf der Basis einer Azidose zur Entzündung oder Entzündungsbereitschaft kommt.

KLEEFELD (1967) bestimmte den pH-Wert der Tränenflüssigkeit kolorimetrisch mit dem Indikatorpapier "p-Hydrion" von Micro Essential Laboratory, Brooklyn, New York, und dem Indikatorpapier von Merck, Darmstadt.

Das Sekret des Bindehautsacks reicherte er mit sterilen, isotonischen, künstlichen Tränen an und bestimmte mit Hilfe

des pH-Papiers die Wasserstoffionenkonzentration.

Als Verdünnern verwendete er künstliche Tränen mit einem pH von 7,0 und 7,4.

Aufgrund seiner Messungen gibt KLEEFELD an, daß der pH-Wert der verdünnten Tränen zwischen 6,7 und 7,5 variiert.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick der Werte, welche die einzelnen Autoren bisher beim Menschen gefunden haben.

Autor		pH
1. Charlton	1921	7,2
2. Kusunoki	1922	7,4 - 8,4
3. Oguchi und Nakashima	1928	8,4 - 8,6
4. Lipschütz	1929	8,0
5. von Pelláthy und Schneider	1930	7,6 - 8,0
6. Hosford und Hicks	1935	7,35
7. Feldmann	1937	7,0 - 7,4
8. Swan, Trussel und Allen	1939	7,44
9. Hind und Goyan	1949	7,47
10. Vidal	1951	7,3
11. Pedersen-Bjergaard und Schmidt	1952	7,4
12. Hudelo und Mergier	1952/53	7,76
13. Rexed	1958	7,49
14. Matthäus	1962	7,48 (7,85)
15. Kleefeld	1967	6,7 - 7,5

C. pH-MESSUNG

Der pH-Wert wurde ursprünglich von SÖRENSEN als negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration definiert.

$$\text{pH} = -\log C_{\text{H}}$$

Die heute fast ausschließlich zur pH-Messung angewandten elektrometrischen Methoden sind jedoch kein Maß für die analytische Wasserstoffionenkonzentration.

Vielmehr ist das elektrochemische Potential von der Aktivität aller Reaktionsteilnehmer abhängig.

Der elektrometrisch gemessene pH-Wert stellt deshalb streng genommen nur eine Zahl dar, die man zwar als Aziditätsmaß verwenden kann, die aber nur durch das Meßverfahren definiert ist:

Man vergleicht die mit einer Elektroden-Kombination in einer Lösung bekannten pH-Wertes (pH_b) gemessenen Spannungen E_b mit der im Untersuchungsgut gemessenen Spannung E_x . Der pH-Wert der unbekannten Lösung (pH_x) ist dann

$$\text{pH}_x = \text{pH}_b + \frac{(E_b - E_x) F}{2,303 RT}$$

F = Faraday-Konstante
R = Gaskonstante
T = Abs. Temperatur

Zur pH-Messung wird heute fast ausschließlich die Glaselektrode verwendet. Das Arbeitsprinzip ist im allgemeinen folgendes:

Wenn man eine dünnwandige Glasmembran aus speziellem Elektroden-glas auf ihren beiden Seiten mit Lösungen verschiedenen pH-Wertes in Berührung bringt, dann resultiert an dieser Membran eine Potential-Differenz, die der pH-Differenz unter bestimmten Be-

dingungen proportional ist.

Ist der pH-Wert der einen Flüssigkeit bekannt, dann ergibt sich der Wert für die andere Flüssigkeit mittels der Potential-Differenz, das heißt, der in Volt gemessenen Spannung.

Der potential-bestimmende Prozeß ist bei der Glaselektrode ein reines Phasengrenzphänomen (kein Redox-Prozeß).

Die Glaselektrode ist somit völlig unempfindlich gegen oxydierende und reduzierende Substanzen. Auch Eiweißstoffe und andere Kolloide stören die Messung mit dieser Elektrode nicht, da für die Potentiale von Glasmembranen kein Redox-Vorgang mit Elektronentausch maßgebend ist.

Zur Ableitung der an der inneren und äußeren Membranfläche entstehenden Potentiale werden zwei indifferente Bezugsselektroden benötigt. Die innere Bezugsselektrode wird heute stets fest in die Glaselektrode eingebaut. Die äußere Bezugsselektrode taucht in einen Elektrolyten bekannter Zusammensetzung, zum Beispiel in gesättigte KCl-Lösung (ROENNEFAHRT, 1964/66).

Ableit- und Bezugsselektrode bestehen bei Elektroden für medizinische Zwecke meist aus Silber/Silberchlorid in Kaliumchloridlösung. Dieses System ist weitgehend unpolarisierbar, denn bei Stromfluß geht je nach Richtung Metall in Salz über - oder umgekehrt Salz in Metall.

Problematisch ist die Grenzfläche Meßlösung/Elektrolyt. Die Phasen sind gewöhnlich durch ein Diaphragma voneinander getrennt, welches von proteinhaltigen Flüssigkeiten leicht mit einer Schicht von denaturiertem Eiweiß verschlossen werden kann. Man benutzt deshalb zur pH-Messung Messketten mit offener

Elektrolytbrücke, in der sich Meßflüssigkeit und Elektrolyt in einer Kapillare gegenüberstehen.

Da elektrometrische pH-Bestimmungen immer Vergleichsmessungen sind, spielt die Qualität der Eichpuffer eine entscheidende Rolle. Hierfür haben sich Phosphate am besten bewährt, denn sie lassen sich durch Mischen von primären und sekundären Salzen im pH-Wert in einem weiten Bereich abstufen, und sie können in einer Ionenstärke hergestellt werden, die derjenigen der Körperflüssigkeiten ähnlich ist.

Die Besonderheiten bei pH-Messungen der Tränen bestehen darin, daß nur wenig Untersuchungsmaterial zur Verfügung steht, daß dieses möglichst schnell nach der Entnahme gemessen werden soll, und daß das Meßgut nicht mit dem Diaphragma der Bezugsselektrode in Berührung kommen darf. Die sich daraus ergebenden Forderungen sind mit Kapillar-Meßketten zu erfüllen. Die Probe wird im Innern eines Röhrchens aufgenommen, das außen von der Bezugslösung und der Ableitelektrode umgeben ist. Der Anfang der Kapillare taucht zusammen mit der Bezugsselektrode in ein Gefäß mit KCl-Lösung. (GALSTER 1968)

D. MATERIAL UND METHODE

I. Der pH-Wert der Tränenflüssigkeit wurde bei 500 Hunden gemessen, die Patienten der chirurgischen Tierklinik waren.

Der Grund der Vorstellung, der Allgemeinzustand und besonders der Befund der Augen wurde aufgenommen. Bei jedem Hund wurde die Tränenflüssigkeit nur einmal an einem Auge gemessen. Bei Hunden mit Augenleiden wurden nur von den Augen Sekretproben entnommen, die mindestens 24 Stunden vorher nicht medikamentell behandelt waren.

Die pH-Wert Bestimmung erfolgte immer in demselben Raum bei Zimmertemperatur. Die Untersuchungen wurden zu verschiedenen Tageszeiten durchgeführt, hauptsächlich nachmittags.

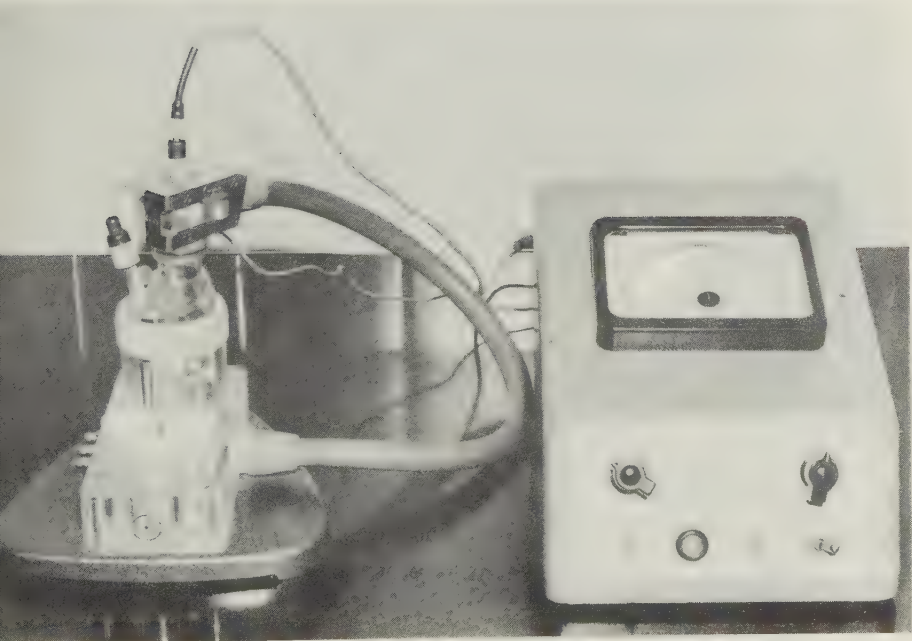
II. Zur pH-Wert Bestimmung wurde die Microkapillar-Meßkette 135 N / 335 N / 945 der Firma Ingold (Zürich, Frankfurt a. M.) verwendet. Diese Meßkette dient zur pH-Bestimmung kleiner Meßproben von 15 - 20 μ l. Sie ist aus dem Glaselektroden-Oberteil (Meßkopf) und dem Bezugselektroden-Unterteil, die beide auf eine Grundplatte montiert sind, aufgebaut.

Vor jeder Untersuchungsreihe wurde die Meßkette neu justiert. Das geschah in folgender Weise:

Die Polyäthylenkapillare, die am unteren Ende der Meßelektrode aufgesteckt ist, wird in die Vorratsflasche mit Pufferlösung von pH 6,841 (Fa. Ingold) getaucht. Eingesaugt wird die Probe dann in die Elektrode durch Abrollen eines Rädchens auf dem Silikonschlauch, der im

Meßkopf montiert ist. Dieser steht mit dem Lumen der Meßkapillare und dem der Polyäthylenkapillare in Verbindung.

Wenn sich nun keine Luftblase am Ende der Polyäthylenkapillare oder in der Elektrodenkapillare befindet, kann der Meßkopf in das Bezugselektrodengefäß, das mit gesättigter KCl-Lösung gefüllt ist, zurückgestellt werden. Das pH-Meter wird dann auf den Meßwert abgeglichen.



Bei dem pH-Meter handelt es sich um ein elektronisches, volltransistorisiertes Meßgerät mit direkter pH- und mV-

Anzeige vom Typ 12 S der Firma Püsl, München. Es hat einen durchgehenden Meßbereich von 0 - 14 pH und einen zusätzlich aufgespreizten Meßbereich von 5 - 9 pH. Die Meßgenauigkeit bei der 5 - 9 pH Teilung wird mit + 0,01 angegeben.

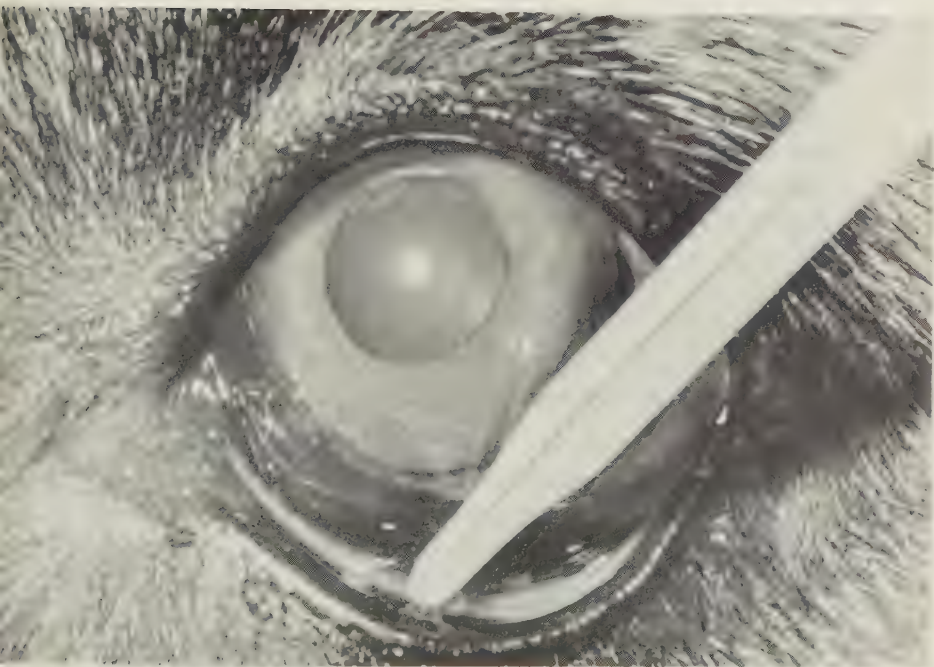
Durch Herausnehmen des Meßkopfes aus dem Bezugsselektrodengefäß und Zurückrollen des Rädchens auf dem Silikon Schlauch wird die Meßlösung wieder ausgestoßen. Nachdem die Meßkapillare mit isotonischer NaCl-Lösung von pH 7,4 durchgespült ist, wird eine Probe des Puffers von pH 7,385 (Fa. Ingold) genommen und die Elektrodenfunktion korrigiert.

- III. Die Tränenflüssigkeit wurde aus dem unteren Bindehautsack, und zwar in der Mitte der unteren Übergangsfalte, entnommen. Das Unterlid wurde hierzu soweit vom Bulbus abgezogen, daß die Tränen sich in einer leichten Mulde sammelten. Mit einer Haemoglobin - 0,02 ml Pipette konnte hier die Flüssigkeit abgesaugt werden.

Soweit es möglich war, wurde ein direkter Kontakt der Pipette mit der Konjunktiva und Kornea vermieden. In ein sauberes Uhrglas wurde die gewonnene Probe dann aus der Haemoglobin-Pipette abgelassen.

Um die zur Messung notwendige Menge von 15 - 20 μ l zu erhalten, mußte das Absaugen aus dem Bindehautsack zwei - dreimal wiederholt werden. Unmittelbar danach wurde das im Uhrglas gesammelte Sekret in der bei der Justierung beschriebenen Weise in die Meßkapillare eingesaugt und sofort gemessen.

Ein direktes Einsaugen der Tränenflüssigkeit aus dem Konjunktivalsack in die Messelektrode war nicht möglich, da sich immer wieder Luftblasen im Meßgut bildeten.



E. ERGEBNISSE

Die 500 untersuchten Tränenflüssigkeiten stammen von 368 augengesunden Hunden und 132 Hunden, die Veränderungen eines oder beider Augen hatten. Der pH-Wert der 368 Proben von den Hunden ohne Anomalien der Augen liegt zwischen 6,80 und 8,03. Der Mittelwert ist pH 7,56 bei einer Standardabweichung von 0,22.

- I. Um festzustellen, ob der pH-Wert der Tränenflüssigkeit vom Geschlecht der Tiere abhängig ist, werden mit Hilfe des t-Tests die pH-Werte von 232 augengesunden Rüden gegen die der 136 augengesunden Hündinnen geprüft.

Tabelle I

	n	$\bar{x}$	s	
männlich	232	7,55	0,22	n = Anzahl der Tiere
weiblich	136	7,56	0,22	$\bar{x}$ = Mittelwert
männl. + weibl.	368	7,56	0,22	s = Standardabweichung

Die Prüfung ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Geschlechtern.

- II. Es wird die Beziehung des pH-Wertes zum Alter der Hunde untersucht. In der nachfolgenden Tabelle sind die Tiere nach Alter, Anzahl, Mittelwert und der dazugehörigen Standardabweichung angeführt.

Tabelle II

Jahre	n	$\bar{x}$	s
< 1	74	7,54	0,22
1	52	7,60	0,20
2	42	7,61	0,21
3	29	7,54	0,27
4	25	7,52	0,25
5	25	7,56	0,13
6	18	7,57	0,21
≥ 7	108	7,52	0,22

Zur Prüfung der Abhängigkeit des pH-Wertes vom Alter der Tiere wird eine einfache Varianzanalyse durchgeführt.

Dabei ergibt sich

$$F = 1,18 < F_{7; 360; 5\%} = 2,0$$

Dies zeigt, daß ein signifikanter Unterschied zwischen den Altersgruppen nicht besteht.

Der größte Unterschied zwischen der Altersgruppe von zwei Jahren mit pH 7,61 und der Altersgruppe von 4 Jahren mit pH 7,52 ist mit pH 0,09 wenig deutlich, zumal die pH-Werte der anderen Altersgruppen dazwischen liegen.

III. Um zu klären, ob der pH-Wert der Tränenflüssigkeit bei den einzelnen Rassen unterschiedlich ist, werden zunächst die Ergebnisse der zahlenmäßig am häufigsten vertretenen Rassen miteinander verglichen.

Tabelle III

Rasse	n	$\bar{x}$	s
Pudel	67	7,64	0,19
Schäferhund	65	7,57	0,18
Dackel	63	7,55	0,21
Boxer	28	7,35	0,25
D. Draht. + D. Kurz.	23	7,51	0,21
Cocker Spaniel	13	7,44	0,28
Collie	9	7,59	0,16

Der Rasseeinfluß wird mit einer einfachen Varianzanalyse überprüft.

$$F = 7,62 > F_{6; 267; 1\%} = 2,9$$

Dies ergibt, daß im pH-Wert der Tränenflüssigkeit zwischen den einzelnen Hunderassen ein signifikanter Unterschied besteht.

Beim Pudel ist er mit pH 7,64 höher als der des Schäferhundes mit pH 7,57 und Dackel mit pH 7,55, wogegen er beim Boxer mit pH 7,35 und dem Cocker Spaniel mit pH 7,44 niedriger ist als bei den übrigen Rassen.

- IV. Von den 132 Hunden, die Erkrankungen der Augen hatten, litten 117 an Entzündungen von Konjunktiva und Kornea, 25 zeigten andere Veränderungen wie Dermoid, Katarakt, Iritis, Glaukom oder Netzhautdegeneration.

Der pH-Wert der Tränenflüssigkeit liegt bei den erkrankten Augen zwischen 6,78 und 8,30. Der Mittelwert ist pH 7,55 bei

einer Standardabweichung von 0,25.

Wenn man die pH-Werte bei akuten und chronischen Entzündungen der vorderen Augenabschnitte der einzelnen Hunderassen gegenüberstellt, ergibt sich folgendes:

Tabelle IV

Rasse	Konjunktivitis				
	akut		chronisch		Diff.
	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	
Pudel	2	7,52	8	7,81	0,29
Schäferhund	2	7,41	3	7,61	0,20
Dackel	4	7,35	9	7,68	0,33
Boxer	1	7,32	5	7,56	0,24
Deutsch D. + D. K.	3	7,44	4	7,64	0,20
Cocker Spaniel	2	7,15	-	-	
Collie	-	-	2	7,47	
Sonstige	4	7,40	9	7,66	0,26

Tabelle V

Rasse	Entzündl. Veränderungen der Kornea				
	akut		chronisch		Diff.
	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	
Schäferhund	14	7,43	16	7,73	0,30
Dackel	4	7,35	9	7,70	0,35
Boxer	-	-	5	7,27	
Sonstige	-	-	1	7,41	

Unter dem Begriff der entzündlichen Veränderungen der Kornea sind folgende Erkrankungen zusammengefaßt:

Epitheldefekt

Ulcus oder Ulcera

Keratitis pannosa et pigmentosa

Der Unterschied in der Wasserstoffionenkonzentration zwischen akuten und chronischen Entzündungen beträgt bei den einzelnen Rassen 0,20 - 0,35 pH.

Am deutlichsten ist die Differenz beim Schäferhund mit Keratitis. Die 14 Hunde im akuten Stadium der Erkrankung haben einen um 0,30 niedrigeren pH-Wert als die 16 Hunde mit chronischer Entzündung.

Die Verteilung der pH-Werte der Tränenflüssigkeit bei den akuten und chronischen Entzündungen von Konjunktiva und Kornea ist in Tabelle VI dargestellt.

Tabelle VI

	Pudel		Schäfer		Dackel		Boxer		D.D.+D.K.		Sonst.	
	a.	c.	a.	c.	a.	c.	a.	c.	a.	c.	a.	c.
6,70 - 6,79											1	
6,80 - 6,89							2					
7,00 - 7,09												
7,10 - 7,19			1									
7,20 - 7,29			2		2		1	1			1	1
7,30 - 7,39			2		4		1	1	1		1	
7,40 - 7,49	1		6	1	2		1				1	2
7,50 - 7,59	1		4	2		6	2		1		2	4
7,60 - 7,69	1	1	1	8		3			3			
7,70 - 7,79	1			4		5	2	1				1
7,80 - 7,89	2			2		2	1					2
7,90 - 7,99	2					2						1
8,00 - 8,09	1			1								1
8,10 - 8,19												
8,20 - 8,29												
8,30 - 8,39				1								

Die pH-Werte der akuten und chronischen Entzündungen der vorderen Augenabschnitte werden gegeneinander geprüft. Dies geschieht mit Hilfe des t-Tests.

Tabelle VII

	n	$\bar{x}$	s
akut	36	7,40	0,16
chronisch	71	7,66	0,23

$$t = 6,13 > t_{105; 1\%} = 2,63$$

Dies zeigt, wie es auch schon nach der Gegenüberstellung zu erwarten ist, daß der Unterschied im pH-Wert der Tränenflüssigkeit zwischen den akuten und chronischen Entzündungen der Konjunktiva und Kornea signifikant ist.

Der pH-Wert ist bei akuten Erkrankungen deutlich erniedrigt, wogegen die Tränenflüssigkeit bei chronischen Konjunktivitiden und Keratitiden wesentlich alkalischer ist.

Über den Einfluß der nicht ausschließlich die Konjunktiva und Kornea betreffenden Erkrankungen auf den pH-Wert der Tränenflüssigkeit kann in dieser Untersuchung keine Aussage gemacht werden.

Die 25 Patienten, die an anderen Veränderungen des Auges litten, genügten aufgrund ihrer Verschiedenheit und geringen Anzahl nicht für eine statistische Erfassung.

F. DISKUSSION

Die von den verschiedenen Autoren angegebenen Werte der Wasserstoffionenkonzentration in der Tränenflüssigkeit des menschlichen Auges weichen zum Teil stark voneinander ab. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß die Untersucher verschiedene Methoden zur pH-Wert-Bestimmung anwendeten. Prinzipiell kann nach der kolorimetrischen und der elektrometrischen Methode gearbeitet werden.

Die Kolorimetrie ist ohne größeren apparativen Aufwand mit Hilfe von Indikatoren durchzuführen. Es ist jedoch schwierig, sie bei kleinen Untersuchungsmengen anzuwenden. Außerdem können Irrtümer entstehen, wenn Mineralsalze und Proteine im Untersuchungsgut vorhanden sind. Um eine Meßgenauigkeit von mindestens 0,1 pH zu erreichen, sollte man die elektrometrische Methode anwenden. Zur pH-Messung von kleinen und kleinsten Flüssigkeitsmengen eignet sich am besten die Mikroglaselektrode. Genaue Ergebnisse sind noch bei einer Probengröße von 0,02 ml zu erzielen.

Die Ergebnisse der Untersucher differieren auch deswegen, weil die einen das Untersuchungsgut aus dem Bindehautsack und die anderen es direkt an der Tränendrüse gewonnen haben. Nur MATTHÄUS entnahm die Tränenflüssigkeit sowohl von den Ausführungsgängen der Tränendrüse als auch aus dem Konjunktivalsack.

Bei den am Hund durchgeführten Untersuchungen wurde eine solche Unterscheidungen nicht getroffen. Es war einerseits

nicht möglich, das Tränensekret direkt an den Ausführungsgängen der Drüse zu gewinnen, andererseits kann der Bindehautsack als der Bereich angesehen werden, in welchem die Tränenflüssigkeit ihre physiologische Wirkung auf die vorderen Abschnitte des Auges hat.

Über den Einfluß des Alters oder des Geschlechts auf den pH-Wert der Tränenflüssigkeit sind beim Menschen - soweit mir bekannt ist - noch keine Untersuchungen durchgeführt worden.

Beim Hund, so zeigt die Auswertung der Ergebnisse, ist der pH-Wert der Tränenflüssigkeit nicht vom Geschlecht oder Alter der Tiere abhängig. Wohl aber weist er rassebedingte Unterschiede auf. Wenn man pH 7,56 - der Durchschnittswert aller augengesunden Hunde - als Bezugsgröße nimmt, weichen die Tränenflüssigkeiten von Schäferhund, Dackel, Deutsch-Drahthaar und Deutsch Kurzhaar und Collie hiervon nur unwesentlich ab. Beim Pudel sind die Tränen alkalischer als bei den anderen Rassen. Dagegen ist der pH-Wert beim Boxer um 0,21 und beim Cocker Spaniel um 0,12 niedriger als der errechnete Mittelwert aller Rassen.

Worauf diese statistisch gesicherten Unterschiede bei den verschiedenen Rassen zurückzuführen sind, läßt sich aus den Untersuchungen nicht folgern. Es ist naheliegend, daß es sich um rassebedingte Eigenschaften handelt, die in den verschiedenen anatomischen und physiologischen Besonderheiten der Tiere zu suchen sind.

Möglicherweise ist der pH-Wert der Tränen mit eine Ursache

für die unterschiedliche Ausbildung, Erscheinungsform und den Verlauf von Konjunktiva- und Kornea-Erkrankungen der einzelnen Hunderassen.

Es ist bemerkenswert, daß Schäferhund und Dackel am häufigsten an Keratitis pannosa erkranken, wogegen diese Erkrankung beim Boxer äußerst selten ist. Bei dieser Rasse ist das typische "Boxer-Ulcus" oder - wie MAGRANE es nennt - die "recurrent corneal erosion" am häufigsten.

Über die pH-Wertveränderung bei Entzündungen der vorderen Augenabschnitte machen die Autoren, die das Auge des Menschen untersuchten, zum Teil widersprüchliche Angaben.

LIPSCHÜTZ, VON PELLATHY und SCHNEIDER, und MATTHÄUS fanden bei Entzündungen der vorderen Augenabschnitte den pH-Wert der Tränen niedriger als bei gesunden Vergleichsfällen. Sie unterschieden allerdings nicht zwischen akutem und chronischem Krankheitsstadium. Dagegen stellten HOSFORD und HICKS eine Alkalisierung der Tränen bei Hornhautverletzungen und akuten Kornea ulcera fest.

HUDELO und MERGIER geben aufgrund ihrer Untersuchungen an, daß bei akuter allergischer Bindehautentzündung die Tränen eine pH-Wert Erniedrigung erfahren. Bei chronischer Bindehautentzündung und Kerato-Konjunktivitis dagegen fanden sie die Tränenflüssigkeit wesentlich alkalischer als beim reizlosen Auge.

Beim Hund kann eine deutliche Veränderung der Wasserstoffionenkonzentration bei akuten und chronischen Entzündungen von Konjunktiva und Kornea festgestellt werden. Im akuten

Krankheitsstadium ist der pH-Wert der Tränenflüssigkeit erniedrigt. Bei chronischen Erkrankungen hingegen erfahren die Tränen eine deutliche Alkalisierung.

HUDELO und MERGIER erklären die pH-Wert Verschiebung mit ihrer Hypothese der "konjunktivalen und lakrimalen Reaktion". Die Ergebnisse von SWAN, TRUSSEL und ALLEN scheinen dies zu bestätigen. Sie fanden ebenfalls den Inhalt des Bindehautsackes bei vermehrtem Tränenfluß alkalischer als bei physiologischer Tränensekretion.

MATTHÄUS stellte bei seinen Untersuchungen fest, daß die pH-Erniedrigung um so ausgeprägter war, je intensiver und akuter der entzündliche Prozess imponierte. Er ist der Auffassung, daß der Entzündungsvorgang die Tränendrüse zur Produktion eines Sekrets veranlaßt, dessen Reaktion deutlich saurer ist als beim gesunden Auge.

OGUCHI und NAKASHIMA und auch LIPSCHÜTZ stellten fest, daß saure Augentropfen das Auge reizen, wobei die Reizwirkung mit der Azidität zunimmt.

Bei der Behandlung der Augenerkrankungen sollten daher nur solche Medikamente über längere Zeit verwendet werden, deren pH-Wert so eingestellt ist, daß sie keine unnötige Reizung und Schädigung des Auges hervorrufen.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß Entzündungen der vorderen Augenabschnitte beim Menschen wie beim Hund eine pH-Wert Änderung der Tränenflüssigkeit verursachen.

G. ZUSAMMENFASSUNG

1. Der pH-Wert der Tränenflüssigkeit von 368 augengesunden Hunden liegt zwischen 6,80 und 8,03. Der Mittelwert ist 7,56 bei einer Standardabweichung von 0,22.
2. Die Wasserstoffionenkonzentration der Tränen wird nicht vom Geschlecht oder Alter der Tiere beeinflusst.
3. Zwischen den einzelnen Hunderassen besteht ein signifikanter Unterschied im pH der Tränen. Als Mittelwert wurde beim Pudel 7,64, Schäferhund 7,57, Dackel 7,55, Boxer 7,35, Deutsch-Drahthaar und Deutsch-Kurzhaar 7,51, Cocker Spaniel 7,44 und Collie 7,59 errechnet.
4. In 36 Fällen mit akuten Entzündungen von Konjunktiva und Kornea liegt der pH-Wert zwischen 6,78 und 7,70. Der Mittelwert ist 7,40 bei einer Standardabweichung von 0,16.
In 71 Fällen mit chronischen Entzündungen von Konjunktiva und Kornea liegt der pH-Wert zwischen 6,88 und 8,30. Der Mittelwert ist 7,66 mit einer Standardabweichung von 0,23.

S U M M A R Y

1. The pH of lacrimal fluid of 368 dogs without eye-diseases varies between 6.80 and 8.03. The average value is 7.56 with a standard deviation of 0.22.

2. Neither age nor sex have any influence on the hydrogen-ion-concentration of tears.

3. There is a significant difference in pH-value between the breeds.

The average value of some breeds is as follows: german shepherd 7.57, poodle 7.64, dachshund 7.55, boxer 7.35, Deutsch-Drahthaar and Deutsch-Kurzhaar 7.51, cocker-spaniel 7.44, and collie 7.59.

4. The pH of tears in 36 cases of acute inflammations of conjunctiva and cornea varies between 6.78 and 7.70. The average value is 7.40 with a standard deviation of 0.16. The pH of tears in 71 cases of chronic inflammations of conjunctiva and cornea varies between 6.88 and 8.30. The average value is 7.66 with a standard deviation of 0.23.

H. LITERATURVERZEICHNIS

- CHARLTON, C.F.: Protein in tears and innervation and secretion of the lacrimal gland.
Amer. J. Ophth. 4, 647 - 649, 1921
- FELDMANN, J.B.: pH and buffers in relation to ophthalmology.
Arch. Ophth. 17, 797 - 810, 1937
- GALSTER, H.: Grundlagen und Bedeutung von pH-Messungen in der medizinischen Diagnostik.
Sonderdruck aus: "Das Ärztliche Laboratorium" 14, 153 - 166, 1968
- HIND, H.W. and GOYAN, F.M.: The hydrogen-ion-concentration and osmotic properties of lacrimal fluid.
J. Amer. Pharm. Ass. 38, 474 - 479, 1949
- HOSFORD, G.N. and HICKS, A.M.: Hydrogen-ion-concentration of tears. Its relation to certain ocular symptoms and conjunctival and corneal lesions.
Arch. Ophth. 13, 14 - 25, 1935
- HUDELO A. et MERGIER J.: Etude du pH lacrimonal en fonction de l'état général.
Ann. Oculist. 185, 764 - 771, 1952
- HUDELO A. et MERGIER, J.: Ann. Oculist. 186, 333 - 343, 1953
- KLEEFELD, G.: Variations du pH des larmes. Bull. Soc. belge Ophthal. 146, 229 - 241, 1967
- KUSONOKI, A.: Referat im Zbl. d. ges. Ophth. 9, 146, 1923

- LIPSCHÜTZ, H.: Über die Bedeutung der Wasserstoff-
ionenkonzentration im Bindehautsack.
Klin. Monatsbl. Augenh. 82, 763 - 769
1929
- MAGRANE, W.G.: Canine Ophthalmology
Philadelphia, Lea and Febinger, 1971
- MATTHÄUS, W.: Elektrometrische Messungen des pH-Wertes
der Tränenflüssigkeit unter physiologischen
und pathologischen Bedingungen.
Klin. Monatsbl. Augenh. 141, 899 - 907,
1962
- OGUCHI, CH. und
NAKASHIMA, M.: Über die H-Ionenkonzentration der Augen-
sekrete und der Augentropfen.
Graefes Arch. Ophthal. 119, 300 - 314 , 1928
- PEDERSEN-BJERGAARD, K.: Electrolytic conductivity, osmotic pressure
and hydrogen ion concentration of human
lacrimal fluid.
Acta Dermatovener. (suppl) 29, 261 - 267,
1952
- von PELLATHY B., und
SCHNEIDER, K.: Behandlung von Bindehaut- und Hornhautent-
zündungen, besonders von Trachom mit Natrium-
hydrocarbonikum aufgrund von Untersuchungen
über den pH-Wert des Konjunktivalsekretes.
Klin. Monatsbl. Augenh. 85, 774 - 782, 1930
- REXED, U.: The pH of the lacrimal fluid determined by a
capillary micro-glass electrode.
Acta Ophthal. 36, 711 - 718, 1958

- ROENNEFAHRT, K.: Die pH-Messung im Klinischen Laboratorium
Medizinal-Markt, Acta Medicotechnica.
12, 142 - 143, 254 - 255, 1964
- ROENNEFAHRT, K.: Die elektrometrische pH-Messung.
G - I - T. 73 - 84, 1966
- SWAN, K.C., TRUSSEL, R.E.
and ALLEN, J.H.: pH of secretion in normal conjunctival
sac determined by glass electrode.
Proc. Soc. exper. Biol. N.Y. 42, 296 - 298,
1939
- VIDAL, F.: pH del humor préocular.
Arch. Ophthal. B. Aires. 26, 430 , 1951

Herrn Prof. Dr. Schebitz möchte ich für die Überlassung des Themas und die gewährte Unterstützung aufrichtig danken.

Herrn Dr. Zedler danke ich für seine Anregungen und Beratung bei der Durchführung der Arbeit.

Mein Dank gilt Herrn Dr. Osterkorn für die statistischen Berechnungen.

Weiterhin danke ich den veterinärmedizinisch-technischen Assistentinnen Fräulein Fuhrich und Fräulein Kotinsky und auch Herrn Vollmer für die Mithilfe bei der technischen Durchführung der Untersuchungen.

Allen Angehörigen der chirurgischen Veterinärklinik danke ich für ihre stets gezeigte Hilfsbereitschaft.

LEBENS LAUF

Am 2. Juli 1944 wurde ich als Sohn des Studienrates Dr. Hermann Dörr und seiner Ehefrau Käte, geb. Rörig, in Bensheim a. d. B. geboren.

Ab Ostern 1950 besuchte ich die Wilhelmschule zu Bensheim. Von 1954 bis 1960 besuchte ich das Alte Kurfürstliche Gymnasium zu Bensheim und anschließend den mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweig des Aufbaugymnasiums Bensheim. Hier legte ich am 17. 2. 65 meine Reifeprüfung ab.

Mit dem Sommersemester 1965 begann ich das Studium der Veterinärmedizin an der Justus Liebig-Universität Giessen. Dort bestand ich am 23. 6. 1970 die tierärztliche Prüfung. Am 1. 7. 1970 wurde mir vom hessischen Minister für Landwirtschaft und Forsten die Bestallung als Tierarzt erteilt.

Seit dem 1. April 1971 bin ich als Verwalter einer wissenschaftlichen Assistentenstelle an der chirurgischen Klinik der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München angestellt.

